

The near-infrared multi-object spectrograph for the Subaru Telescope and its application to the observations of distant galaxies

著者	東谷 千比呂
号	49
学位授与番号	2237
URL	http://hdl.handle.net/10097/39288

氏名・(本籍)	とう こく ち ひ ろ 東 谷 千比呂
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第2237号
学位授与年月日	平成18年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)天文学専攻
学位論文題目	The near-infrared multi-object spectrograph for the Subaru Telescope and its application to the observations of distant galaxies (すばる望遠鏡の近赤外線多天体分光器の開発と遠方銀河の観測への応用)
論文審査委員	(主査) 教授 関 宗 蔵 教授 千 葉 柁 司 助教授 市 川 隆

論 文 目 次

Contents

1	Introduction	5
1.1	Importance of NIR Spectroscopic Observations for Distant Galaxies	5
1.2	Difficulties of a NIR MOS Instrument	8
1.3	Multi-Object InfraRed Camera and Spectrograph (MOIRCS)	9
2	Cryostat	12
2.1	Cryostat Structure	12
2.1.1	Overview	12
2.1.2	Cryostat Structure Analysis	13
2.1.3	Main Dewar	18
2.1.4	MOS Mask Dewar	20
2.1.5	Housekeeping	20
2.2	Cooling System	22
2.2.1	Design	22
2.2.2	Multilayer Insulation	24
2.2.3	Pre-cooling System	24
2.2.4	Cooling-down Procedures	25
2.2.5	Warning-up Procedures	26
3	Cryogenic MOS System	30
3.1	Mask Exchange System	30
3.1.1	Slit Mask Exchanger	30
3.1.2	Position Sensing	33
3.1.3	Mask Exchange Procedures	35
3.1.4	Interlock	37
3.2	Slit Mask	40

3.2.1	Selection of the Mask Material	40
3.2.2	Thermal Contraction of the Masks	42
3.2.3	Slit Design	45
3.2.4	Slit Cutting	46
3.2.5	Mask Installation	48
4	MOS Observations	50
4.1	MOS Pointing	50
4.1.1	Pointing Sequence	50
4.1.2	Pointing Results	53
4.1.3	Random Residual	55
4.2	Spectroscopic Capability	57
4.2.1	Resolution	57
4.2.2	Efficiency	61
4.2.3	Flat field images	61
4.2.4	Flexure of the Instrument and Effect on Long Integration	67
4.2.5	Atmospheric Effect	67
5	Spectroscopic Observations of Distant Galaxies	70
5.1	Target selection and mask design	70
5.2	Observations	74
5.3	Data Reduction	74
5.3.1	Spectra Cut-out	74
5.3.2	Sky subtraction	74
5.3.3	Wavelength Calibration	74
5.3.4	Flat-fielding	77
5.3.5	Rating Star	77
5.3.6	Results	78
5.4	Conclusions	80
A	MLI Fabrication	84
A.1	Materials	84
B	Liquid Nitrogen	86
B.1	Properties of LN ₂	86

論文内容要旨

近赤外線波長域 (8000-25000Å) での分光観測は、遠方銀河の性質を調べる上で非常に重要である。静止波長で可視光域 (4500-8000Å) にある輝線 (たとえば, [SII] (6718Å, 6731Å), H α (6563Å), [NII] (6548Å, 6583Å), [OI] (6300Å), [OIII] (5007Å, 4959Å), H β (4861Å) など) は、その輝線強度や輝線比を測定することで、光子の電離状態や星形成率、星間空間の金属量、銀河の吸収量などを調べるのに非常に有効であるが、これらの輝線は赤方偏移 $z > 1$ で近赤外線波長域にシフトする。また、典型的な星形成銀河から出る最も強い輝線である紫外線のライマン α 輝線 (1219Å) は、赤方偏移 $z \sim 1.3 - 3.0$ では可視波長域

に入らない。そのため、この領域 ($1.3 < z < 3.0$) は赤方偏移砂漠と呼ばれ、観測が困難なためデータの少ない時間領域である。その領域にある銀河を統計的かつ定量的に研究するには、星間吸収などの影響が少ない可視輝線を近赤外線波長域で観測し、十分な数のサンプルを集めることが不可欠である。しかし赤外線波長域では、OH夜光が非常に強くなるのに加え、2ミクロンより長い波長では背景にある常温のものが全てノイズとなるため、可視光に比べて限界等級が浅くなる。このため赤外線では十分な分解能とS/Nで遠方銀河の分光観測を行うには、集光力のある大型望遠鏡が必要である。またこれまでは十分な画素数を持った赤外線の検出器の開発も可視光CCDに比べて数年遅れていた。こうした背景から、大型望遠鏡と赤外線検出器が登場した2000年頃から、赤外線での天体観測が急速に発展してきた。

しかし、これらの遠方銀河は8メートル級の望遠鏡でも一晩かけて一天体分光するのがやっとの非常に暗い天体であり、現在のような一つ一つ分光するタイプの分光装置ではサンプルの数を十分に増やすのは困難である。現在、赤外線と同時に複数の天体を分光できる多天体分光器は口径の小さい4メートルクラスの望遠鏡にしかなく、集光力が小さいために、明るい銀河など非常に限られた種類の天体を観測するに留まっている。赤外線の多天体分光をするには、マルチスリットマスクを十分冷却せねばならず、マスク材料の熱収縮が問題となる。また低温装置内で視野に応じてマルチスリットマスクを交換する機構が必要になる。そして観測する視野ごとにスリットマスクも異なるため、新たなマスクを作っては入れ替えるシステムも必要になる。しかしその都度、光学素子や検出器など装置全体を常温・大気圧に戻すような温度サイクルは危険を伴うため、装置は低温のまま、スリットマスクだけを入れ替え可能にするようなシステムが必要になる。このようないくつかの困難を伴う機構を本質的に必要とするため、大型望遠鏡で用いるような規模の大きな赤外線多天体分光装置はいまだ実現していないのが現状である。

私たちは口径8.2メートルのすばる望遠鏡用の近赤外線多天体分光撮像装置 MOIRCS (Multi-Object InfraRed Camera and Spectrograph) を開発した。これは世界最大の8–10メートル級の望遠鏡では世界初となる近赤外線多天体分光器であり、遠方銀河の分光観測を最も得意とする新しい観測装置である。私は、MOIRCSプロジェクトが始まった当初から開発に参加し、主にMOIRCSの構造・冷却システムや冷却分光システムを開発してきた。MOIRCSは広い視野をカバーするために大型の光学素子を内蔵する大きな精密観測装置である(2メートル立方、重量2トン)。このような装置の冷却機構を設計する際の最大の困難は、装置そのものが非常に大きいことである。また冷却した多天体分光機構を設計する際の最大の困難は低温下でのスリットマスクの交換方法と、観測ごとに作り換えるスリットマスクを低温にある光学素子等の温度を保持したまま装置の一部を開けて入れ換える方法、そして冷却することによって熱収縮するスリットマスクを精度よく制御する点などである。私たちは、低温下での各部の駆動機構を極力シンプルにし、それに加えてハード面での安全機構とソフト面でのインターロック機構を開発した。基礎実験と工夫を重ね、上記の困難要素を一つずつ克服してMOIRCSを完成させた。

また観測中、速やかに分光観測を開始するために、複数の天体に同時にスリットをのせる手法も開発した。こうして、性能試験観測において遠方銀河の静止波長可視光の輝線を、同時に複数の天体について取得することに成功した。現時点では約30天体を同時に分光できる。これまで一度に一天体しか分光できなかったのと比べて観測効率が格段に向上した。実際、性能試験観測では数時間の積分時間で赤方偏移 $z > 0.8$ –2.1の複数の天体について輝線だけでなく連続光も検出することに成功し、MOIRCSの多天体分光器としての基本性能が確認された。またこれまでにない広い視野での赤外線分光観測にあたって、観測手法やデータ解析手法についても前例がないため、その一つ一つのステップを確認し、一連の分光観測手法とその性能を確認した。

本論分では、私が担当してきた装置の機構・冷却システムと冷却分光システムについて、設計・製作・実験についての詳細と、観測手法、データの性能、解析手法について述べた。

論文審査の結果の要旨

静止波長で可視光域にある輝線は赤方偏移 $z>1$ で近赤外線波長域にシフトする。 $z>1$ にある銀河を統計的かつ定量的に研究するには、星間吸収などの影響が少ない近赤外線波長域で観測し、十分な数のサンプルを集めることが不可欠である。このため赤外線で十分な分解能と高い精度で遠方銀河の分光観測を行うには、集光力のある大型望遠鏡を必要とする。しかし8m級の望遠鏡をもってしても一晩かけて数天体しか分光できないのが現状である。一度に多数の天体を赤外線で観測するためには、冷却したマルチスリットマスクと、それを低温装置内で交換する機構が必要になる。そこで東谷千比呂は口径8.2mすばる望遠鏡用に、観測中にも交換可能な冷却マルチスリットマスクを有する分光装置MOIRCSを開発した。MOIRCSは広い視野をカバーするために大型の光学素子を内蔵する大きな精密観測装置である。このような装置の冷却機構を設計する際の最大の困難は、装置そのものが非常に大きいことである。冷却した多天体分光機構を設計する際の最大の困難は低温下でのスリットマスクの交換方法と、観測ごとに入れ替えるスリットマスクを、低温にある光学素子等の温度を保持したまま入れ換える方法、そして冷却することによって熱収縮するスリットマスクを精度よく制御する点などである。そこで低温下での各部の駆動機構を極力単純化し、加えてハード面での安全機構とソフト面でのインターロック機構を開発した。また観測中、速やかに分光観測を開始するために、複数の天体に同時にスリットをのせる手法も開発した。性能試験観測においては遠方銀河の静止波長が可視域の輝線を同時に30個の天体について取得することに成功した。これまで一度に一天体しか分光できなかったのと比べて観測効率が格段に向上した。性能試験観測では数時間の積分時間で $K=19$ 等程度の複数の天体について輝線だけでなく連続光も検出することに成功し、MOIRCSの多天体分光器としての基本性能が確認された。

以上の論文の内容は、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。従って、東谷千比呂提出の博士論文は、博士(理学)の学位論文として合格と認める。